

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. September 2005 (15.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/084571 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **A61B 19/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/002244

(22) Internationales Anmeldedatum:
3. März 2005 (03.03.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 010 952.4 3. März 2004 (03.03.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DEUTSCHES KREBSFORSCHUNGSZENTRUM STIFTUNG DES ÖFFENTLICHEN RECHTS** [DE/DE]; Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **VETTER, Marcus** [DE/DE]; Goethestrasse 6, 68535 Edingen (DE). **WOLF, Ivo** [DE/DE]; In der Au 31, 69257 Wiesenbach (DE). **WEGNER, Ingmar** [DE/DE]; Ortenauer Strasse 1, 69126 Heidelberg (DE). **MEINZER, Hans-Peter** [DE/DE]; Steingasse 4, 69117 Heidelberg (DE). **BECKER, Heinrich** [DE/DE]; Amalienstrasse 5, 69126 Heidelberg (DE).

(74) Anwalt: **ISENBRUCK, Günter**; Isenbruck, Bösl, Hörschler, Wichmann, Huhn, Theodor-Heuss-Anlage 12, 68165 Mannheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INCREMENTAL REAL TIME RECORDING OF TRACKED INSTRUMENTS IN TUBULAR ORGAN STRUCTURES INSIDE THE HUMAN BODY

(54) Bezeichnung: INKREMENTELLE, ECHTZEITREGISTRIERUNG VON GETRACKTEN INSTRUMENTEN IN RÖHRENFÖRMIGEN ORGANSTRUKTUREN INNERHALB DES MENSCHLICHEN KÖRPERS

(57) Abstract: The invention relates to a method for navigation during medical operations on tubular organ structures. Said method is characterised in that, before the operation, static image data of the tubular organ structures is recorded and stored, the images of the tubular organ structures are extracted from the image data and the course thereof is converted into a geometric description used during the medical operation for instrument/organ recording, and the instrument that is spatially localised by a tracking system is successively corrected in relation to the static data, by a transformation that is preferably defined by an optimisation method, taking into account the geometrical description and information on the current distance covered by the instrument, or vice versa, the static data is successively corrected in relation to the instrument position, and thus the position of the instrument is associated with the anatomic structures in the static image data.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Navigation bei medizinischen Eingriffen an röhrenförmigen Organstrukturen, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Eingriff statische Bilddaten der röhrenförmigen Organstrukturen aufgenommen und gespeichert werden, dass aus den Bilddaten die röhrenförmigen Organstrukturen extrahiert werden und deren Verlauf in eine geometrische Beschreibung überführt wird, die während der medizinischen Intervention zur Instrumenten-Organregistrierung verwendet wird, indem das durch ein Trackingsystem räumlich lokalisierte Instrument unter Einbeziehung der geometrischen Beschreibung und Informationen über die bisherige von dem Instrument zurückgelegte Wegstrecke durch eine Transformation, die vorzugsweise durch ein Optimierungsverfahren bestimmt wird, relativ zu den statischen Daten sukzessive korrigiert wird oder umgekehrt die statischen Daten relativ zu der Instrumentenposition sukzessive korrigiert werden, und somit die Position des Instruments den anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten zugeordnet wird.

WO 2005/084571 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Inkrementelle, Echtzeitregistrierung von getrackten Instrumenten in röhrenförmigen Organstrukturen innerhalb des menschlichen Körpers

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur objektiveren und genaueren Navigation bei medizinischen, diagnostischen und therapeutischen Eingriffen an nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen.

Hintergrund der Erfindung

In den letzten Jahren wurde u.a. durch eine Veränderung der Rauchgewohnheiten eine steigende Inzidenz von Adenokarzinomen und weiter peripher gelegenen Bronchialkarzinomen beobachtet (Stanley K.E., 1980, J. Natl. Cancer Inst, Band 65: Seiten 25-32). Einen viel versprechenden strahlentherapeutischen Ansatz stellt die Einführung der stereotaktischen Bestrahlung der Lunge dar. Nachteil dieser Methode ist allerdings der erhebliche technische und zeitliche Aufwand (Vollnarkose unter Hochfrequenz-Jet-Beatmung). Ein weiterer Ansatz ist die Anwendung einer navigierten endoluminalen Bestrahlung mittels Brachytherapie (Harms et al., 2001, Semin. Surg. Oncol., Band 20, Seiten 57-65). Dabei wird ein radioaktiver Strahler durch einen Katheter für einen geplanten Zeitraum direkt im Tumor platziert. Aufgrund des steilen Dosisabfalls der Strahlenquelle (Ir192) können hochkonformale Dosisverteilungen erreicht werden, die es erlauben, umliegende Normalgewebe zu schonen und hohe Dosen an Tumoren zu applizieren. Bisher konnte eine Brachytherapie nur bei zentral gelegenen Bronchialkarzinomen eingesetzt werden. Der Bestrahlungskatheter wird hierzu von einem Lungenspezialisten mit Hilfe einer konventionellen Bronchoskopie eingeführt. Aufgrund der starken Verästelung des Bronchialbaums und dem damit verbundenen Problem, den richtigen Weg zu weiter peripher gelegenen Lungentumoren zu finden, konnte die endoluminale Bestrahlung bisher nur bei Tumoren bis zu Ebene der 2. Segmentbronchien durchgeführt werden. Abhilfe schafft hier der Einsatz eines elektromagnetischen Navigationssystems, welches während der Bronchoskopie den Weg zu weiter peripher gelegenen Regionen zeigt. Elektromagnetische Trackingsysteme mit sehr kleinen Empfangsspulen, die die Katheterspitze ohne direkte Sicht lokalisieren, sind bereits kommerziell erhältlich (z.B. AURORA, Northern Digital Inc.; Waterloo, Ontario Canada)

und zeigen bereits eine hohe Treffergenauigkeit. Sie müssen aber bezüglich des Umgangs in sich ständig bewegenden Weichteilgeweben, z.B. der Lunge, und der Anzeige eines zuvor geplanten Zielpfades erweitert werden. Eine auf Computertomografie (CT) – Bilddaten basierende Navigation für die Bronchoskopie ist aus dem Stand der Technik
5 bekannt (Superdimension, Herzli, Israel, Schwarz et al., 2003, Respiration Band 70, Seiten 516-522). Jedoch erschwert die kontinuierliche Ventilation der Lunge und die damit einher gehenden Translokationen des Bronchialbaumes die Bestimmung der exakten Lagebeziehung zwischen der Katheterspitze und dem Bronchialbaum erheblich. Auch der Ansatz, die Atembewegung durch auf den Brustkorb angebrachte Marker zu detektieren
10 und bei der Lagebestimmung zu berücksichtigen, führt beim klinischen Einsatz dieses Systems zu unbefriedigenden Ergebnissen. Insbesondere in der Peripherie des Bronchialbaums bedarf es einer Verbesserung hinsichtlich der Genauigkeit, so dass eine vom Arzt gewünschte Fusion von Videobild und virtueller Pfadführung ermöglicht wird. Hierbei ist nicht nur die initiale Positionierung des Bestrahlungskatheters, sondern auch die
15 Kontrolle seiner Position über den Behandlungszeitraum hinweg von Interesse.

Bisher werden bei medizinischen, diagnostischen und therapeutischen Eingriffe an nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen, wie z.B. Blutgefäßen, Bronchien des menschlichen Körpers, bildgebende Verfahren, wie z.B. strahlungsintensive
20 Durchleuchtungen, verwendet, die stets eine Strahlenbelastung für den Patienten bzw. den behandelnden Arzt darstellen. Erste Ansätze zur Navigation von getrackten Instrumenten, wie z.B. Katheter oder Bronchoskope, in nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen, reichen hinsichtlich ihrer Genauigkeit nicht aus, um diese radiologischen, bildgebenden Verfahren während des Eingriffs zu ersetzen.

25

Dabei werden bisher bei der Navigation in nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen, z.B. bei der navigierten Bronchoskopie, lediglich externe bzw. wenige interne künstliche oder anatomische Landmarken verwendet, um ein getracktes Instrument, wie z.B. Katheter, Bronchoskop, mit medizinischen Bilddaten zu registrieren. Dabei wird
30 das Skelett einer röhrenförmigen Organstruktur nicht zur Registrierung bei Katheter bzw. Bronchoskopie Anwendungen verwendet.

Aufgrund von atmungsbedingten Bewegungen innerhalb des Thorax und des Abdomens kommt es zu großen Organverschiebungen bzw. Deformationen der betroffenen Regionen.

Registrierungspunkte auf dem Patienten bzw. wenige Landmarken innerhalb des Bronchus oder eines Blutgefäßes genügen nicht, um eine schritthaltende Registrierung des getrackten Katheters bzw. Bronchoskops mit zuvor aufgenommenen Computertomographie (CT-) oder Magnetresonanztomographie (MRT-) Bilddaten des Patienten zu gewährleisten.

5 Beispielsweise treten bei der Bronchoskopie Registrierungsfehler auf, die eine sichere bildgestützte Gewebeentnahme (Biopsie) oder intra-Bronchiale Bestrahlung erschweren bzw. das Risiko für den Patienten erhöhen.

Beschreibung der Erfindung

10

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Navigation bereitzustellen, mit dem eine Echtzeit-fähige Registrierung in röhrenförmigen Organstrukturen des menschlichen Körpers deutlich verbessert werden kann.

15 Als Lösung schlägt die Erfindung vor, aus den prä-interventionellen drei oder höher dimensional Bilddaten (CT, MRT) zunächst die röhrenförmigen Strukturen zu segmentieren und anschließend mittels bekannter Skelettierungsverfahren in eine Graphendarstellung zu überführen. Dabei repräsentiert die Mittellinie der röhrenförmigen Organstruktur die Kante des Graphen.

20

Während der Intervention (z.B. Biopsien oder Bestrahlung in der Lunge) wird zunächst eine Grobregistrierung des Patienten durch interne und externe Landmarken des Patienten durchgeführt.

25 Die Position des Instruments, wie z.B. Katheter in Gefäßen oder Bronchoskop bei der Bronchoskopie, wird während der Intervention durch ein Trackingsystem räumlich bestimmt. Nach der Grobregistrierung wird der Weg dieses getrackten Instruments, relativ zu den externen oder ggf. internen Markern, in der röhrenförmigen Struktur verfolgt. Die Lage des Instruments wird durch eine Transformationsvorschrift auf das Skelett (Modell)

30 der röhrenförmigen Organstruktur projiziert. Bei Kurven und Verzweigungen der röhrenförmigen Organstruktur kann das Modell sukzessive durch eine nicht rigide Transformation verändert werden, so dass die Position des Katheters stets innerhalb der röhrenförmigen Organstruktur zu liegen kommt. Während des Verschiebens bestimmt eine

Kostenfunktion den wahrscheinlichsten Modellabschnitt, an dem sich das Instrument befindet. Die beispielsweise atmungsbedingten Verschiebungen der röhrenförmigen Organstruktur führen zur räumlichen Bewegung des Instruments. Die zur Ausdehnung der röhrenförmigen Organstruktur orthogonalen Komponenten werden dabei zur Korrektur des Modells verwendet.

Damit wird es möglich, röhrenförmige Organstrukturen zur Echtzeit im Bereich des Instrumentes sehr exakt zu registrieren. Die Registrierung erfolgt dabei sukzessive entlang des Weges des Instruments.

Das Verfahren ist vergleichbar der lokalen Positionskorrektur in GPS-gestützten Kraftfahrzeugen, die über die Richtung und Entfernung, d.h. Geschwindigkeit und Zeit, einen Vergleich mit der elektronischen Landkarte durchführen und die Kreuzungen bzw. Kurven zur Positionskorrektur verwenden. Im bildhaften Vergleich wird bei der Navigation in röhrenförmigen Organstrukturen darüber hinaus die „Landkarte“, d.h. das Skelett bzw. Modell der röhrenförmigen Organstruktur, bei der orthogonalen Bewegung zur Straßenrichtung die Landkarte verzerrt.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung liegt darin, dass die Position des getrackten Instrumentes sukzessive mit dem Verlauf der röhrenförmigen Organstruktur verglichen wird und somit sowohl das Modell angepasst wird als auch die Lage des Instrumentes in Bezug zur Struktur (Registrierung) erschlossen wird.

Der Vorteil der Erfindung liegt in der deutlich erhöhten Genauigkeit der Registrierung bei röhrenförmigen Organstrukturen, die auch bei Bewegungen der Organstruktur gewährleistet werden kann.

Die deutliche Verbesserung der Registrierungs-genauigkeit in Gefäßen und Bronchien verbessert bestehende Navigationsverfahren und eröffnet neue Applikationen. Somit können strahlungsintensive Durchleuchtungen (Angiographie), die den Patienten und den behandelnden Arzt belasten, reduziert werden. Darüber hinaus kann eine verbesserte Genauigkeit bei der Platzierung von Gefäß-Stands oder der Platzierung von Herzschrittmacher-Elektroden erzielt werden.

Auf der Patientenoberfläche werden zwei oder mehr Tracker eines Trackingsystems angebracht. Der Mediziner führt die räumlich getrackte Bronchoskopspitze in die Trachea ein. Mittels der Bronchoskopie-Kamera wird die Lage des Bronchoskops mit der
5 Position in den Bilddaten vom Arzt verglichen und interaktiv zugeordnet. Anschließend wird die Position der Bronchoskopspitze zum Bronchialbaum nach dem oben beschriebenen Verfahren korrigiert. So kann beispielsweise von einer in den präoperativen Bilddaten identifizierten Läsion, zielgenau eine Biopsie entnommen werden. Ein weiterer Anwendungsfall für die onkologische Bronchoskopie betrifft die Positionierung von
10 Bestrahlungssonden innerhalb eines Bronchus.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Navigation bei medizinischen Eingriffen an röhrenförmigen Organstrukturen besteht darin, dass vor dem Eingriff statische Bilddaten der röhrenförmigen Organstrukturen aufgenommen und gespeichert werden. Aus diesen
15 Bilddaten wird die röhrenförmigen Organstrukturen extrahiert und deren Verlauf in eine geometrische Beschreibung überführt. Diese wird während des medizinischen Eingriffs zur Instrumenten-Organregistrierung verwendet, indem das durch ein Trackingsystem räumlich lokalisierte Instrument erfasst wird. Dies geschieht unter Einbeziehung der geometrischen Beschreibung und Informationen über die bisherige von dem Instrument
20 zurückgelegte Wegstrecke. Die zu bestimmende Transformation, die vorzugsweise durch ein Optimierungsverfahren bestimmt wird, wird relativ zu den statischen Daten sukzessive korrigiert. Es versteht sich, dass auch umgekehrt die statischen Daten relativ zu der Instrumentenposition sukzessive korrigiert werden kann. Somit wird die Position des Instruments den anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten zugeordnet.

25

Insbesondere kann die Information über die Wegstrecke die kontinuierliche Aufzeichnung der räumlichen Position des Instrumentes darstellen.

Vorzugsweise wird als räumliche Position des Instrumentes nur die Instrumentenspitze
30 erfasst.

Es versteht sich, dass die räumliche Position des Instrumentes auch durch mehrere Positionen oder eine unendlich große Zahl von Positionen, und damit kontinuierlich, entlang des Instruments erfasst werden kann.

- 5 Die Information über die Wegstrecke kann weitere Merkmale enthalten, insbesondere Verzweigungen und Durchmesser der röhrenförmigen Organstrukturen, die während des Vorschiebens des Instruments erfasst werden.

- 10 Das Verfahren zur Navigation, und dabei insbesondere das Verfahren der Transformation, kann die statischen Bilddaten verformen, so dass die anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten mit den anatomischen Strukturen des Patienten an der Instrumentenposition übereinstimmen.

- 15 Aus der sich zeitlich ändernden Position des Instrumentes kann, insbesondere bei zyklischer Bewegungen, wie z.B. die Atembewegungen, die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur berechnet werden. Hierbei kann insbesondere aus den Komponenten der Bewegung des Instrumentes, die orthogonal zu der röhrenförmigen Organstruktur sind die Bewegung errechnet werden.

- 20 Zusätzlich kann ein patientenindividuelles oder verallgemeinertes Bewegungsmodell der röhrenförmigen Organstruktur und/oder des umliegenden Gewebes zur Positionsbestimmung bzw. zur sukzessiven Registrierung des Sensors in der röhrenförmigen Organstruktur genutzt werden.

- 25 Durch Berücksichtigung der berechneten zyklischen Bewegung, können aus den Positionen des Instrumentes über die Zeit Informationen über den Verlauf und Aufbau der röhrenförmigen Struktur selbst gewonnen werden, um die statischen Informationen über die röhrenförmige Organstruktur zu erweitern oder ggf. diese komplett aufzubauen. Es versteht sich, dass diese aufgebauten Informationen zu einem späteren Zeitpunkt, 30 beispielsweise während einer Therapie oder Verlaufskontrolle, als statische Informationen genutzt werden können.

Es versteht sich, dass die sukzessive Registrierung des Sensors mit der röhrenförmigen Organstruktur nicht kontinuierlich erfolgen muss, sondern ggf. zu bestimmten Zeitpunkten, wie beispielsweise zu Beginn der Intervention, erfolgen kann.

- 5 Bei der Bestimmung der Transformation wird die berechnete Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur einbezogen.

Es versteht sich, dass durch das Anbringen externer oder interner Marker die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur näherungsweise erfasst und in die Berechnung der
10 Transformation einbezogen werden kann.

Es versteht sich weiterhin, dass die Transformation über die Wegstrecke sukzessiv gelernt werden kann.

- 15 Dabei stellt die geometrische Beschreibung die Zentrallinien und/oder die Verzweigungen und/oder die Oberfläche der röhrenförmigen Organstruktur dar.

Die Erfindung wird anhand der folgenden Beispiele näher erläutert, ohne darauf beschränkt
20 zu sein.

Beispiel 1: Navigierte Bronchoskopie:

Vor dem Eingriff wird ein Skelett-Modell des Bronchialbaumes auf die oben beschriebene
25 Art und Weise erstellt und der Weg zur Zielregion identifiziert.

Auf der Patientenoberfläche werden dann zwei oder mehr räumlich erfassbare Objekte (Tracker) eines Trackingssystems angebracht. Der Mediziner führt die räumlich getrackte Bronchoskopiespitze in die Trachea ein. Mittels der Bronchoskopie-Kamera wird die Lage des Bronchoskops mit der Position in den Bilddaten vom Arzt verglichen und interaktiv
30 zugeordnet. Anschließend wird die Position der Bronchoskopiespitze zum Bronchialbaum nach dem oben beschriebenen Verfahren korrigiert. So kann beispielsweise von einer in den präoperativen Bilddaten identifizierten Läsion zielgenau eine Biopsie entnommen werden.

Ein weiterer Anwendungsfall für die onkologische Bronchoskopie betrifft die Positionierung von Bestrahlungssonden innerhalb eines Bronchus.

5

Beispiel 2: Ablauf einer Untersuchung

Unter Gebrauch des Open Source Toolkits MITK (Medical Imaging Interaction Toolkit, Wolf et al., MITK, 2004, Band 5367, Seiten 16-27) wird das Navigationssystem ARION (Augmented Reality for intraoperativ Navigation, Vetter et al., 2003, Navigationaids and
10 real-time deformation modeling for open liver surgery, 2003, Band 5029, Seiten 58-68) für die Bronchoskopie bzw. Brachytherapie erweitert. Mit der entwickelten Applikation können alle für die Planung, Berechnung und Durchführung notwendigen Schritte durchgeführt werden. Zunächst wird der Bronchialbaum mit besonderem Augenmerk auf
15 untere Generationen extrahiert. Das Ergebnis wird in eine mathematische Beschreibung überführt (Schoebinger M. et al., 2003, in: BVM, Seiten 76-80). Zugleich kann eine für die Operation wichtige Region (Karzinom) durch den Gebrauch interaktiver Werkzeuge segmentiert werden. Unter 2D- und 3D-Ansicht auf den Bronchialbaum und der weiteren
20 Segmentierung deklariert ein Lungespezialist daraufhin interaktiv den Start- und Endpunkt des erwünschten Leitpfades, worauf der errechnete Pfad aus der mathematischen Beschreibung errechnet und unmittelbar angezeigt wird. Auf Wunsch kann das Ergebnis interaktiv verändert werden. Während der Intervention wird ein handelsübliches elektromagnetisches Trackingsystem (z.B. Aurora, NDI) verwendet, um die Position der Katheterspitze zu messen. Ein neuer, sukzessiver Registrierungsprozess verbessert die
25 Genauigkeit in der Peripherie der Lunge. Die Position der Katheterspitze relativ zum Bronchialbaum, der Zielbronchus und der Pfad dorthin kann nun über 2D- und 3D-Ansichten angezeigt werden. Ebenfalls ist es durch erweiterte Realität (Augmented Reality) möglich, den Zielpfad in das Bronchoskopie-Videobild einzublenden.

30

Beispiel 3: Repräsentation des Bronchialbaums

Erste Versuche an einem beweglichen Lungemodell haben gezeigt, dass durch die sukzessive Registrierung eine Verbesserung der Genauigkeit erreicht wird. Die Tests
35 werden z.B. mit Aurora (NDI) und dem MicroBird System (Ascension; Milton, Vermont, USA) durchgeführt. Die mathematische Repräsentation des Bronchialbaums ermöglicht

einen schnellen und interaktiven Umgang mit den Daten. Die Visualisierung des Zielpfads kann auf die Gewohnheiten des Lungenspezialisten angepasst werden. Es stehen 2D-Schnittbilder und eine 3D-Ansicht auf den Bronchialbaum mit Zielpfad und der Katheterspitze zur Verfügung. Ferner zeichnet sich ab, dass ein bildgestütztes Navigationssystem, welches die Fusion von Bronchoskopie-Videobild mit Zielpfad vornimmt, eine deutliche Verbesserung für den Lungenspezialisten darstellt. Die Einblendung eines Leitpfades kann das mühsame und zeitaufwändige Aufsuchen der Zielregion deutlich verbessern und so die Belastung des Patienten durch kürzere Narkosezeiten verringern und eventuell den Verzicht auf Kontroll-CT zur Lageüberprüfung des Katheters ermöglichen. Selbst wenn das Bronchoskop aufgrund seiner Größe nicht weiter in die Peripherie gelangen kann, wird es durch die verbesserte Registrierung möglich sein, den Bestrahlungskatheter mittels virtueller Bronchoskopie weiter in die Peripherie zu leiten. Für die Brachytherapie bedeutet das eine verbesserte Lagebestimmung der Bestrahlungsprobe während der gesamten Therapie.

Durch das erfindungsgemäße Navigationssystem folgt der Lungenspezialist dem im Videobild virtuell eingeblendeten Pfad bis zum Zielbronchus. Somit wird erstmals eine bildbasierte Navigationsunterstützung für die Bronchoskopie bzw. Brachytherapie realisiert. Hierbei ist die Immersion des Lungenspezialisten gering, da lediglich ein dünner Pfad in das gewohnte Bronchoskopiebild eingezeichnet wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Navigation bei medizinischen Eingriffen an röhrenförmigen Organstrukturen,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass vor dem Eingriff statische Bilddaten der röhrenförmigen Organstrukturen aufgenommen und gespeichert werden,
dass aus den Bilddaten die röhrenförmigen Organstrukturen extrahiert werden und deren Verlauf in eine geometrische Beschreibung überführt wird, die während der
10 medizinischen Intervention zur Instrumenten-Organregistrierung verwendet wird, indem das durch ein Trackingsystem räumlich lokalisierte Instrument unter Einbeziehung der geometrischen Beschreibung und Informationen über die bisherige von dem Instrument zurückgelegte Wegstrecke durch eine Transformation, die vorzugsweise durch ein Optimierungsverfahren bestimmt wird, relativ zu den
15 statischen Daten sukzessive korrigiert wird
oder
umgekehrt die statischen Daten relativ zu der Instrumentenposition sukzessive korrigiert werden, und somit die Position des Instruments den anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten zugeordnet wird.
20
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Information über die Wegstrecke die kontinuierlich aufgezeichnete räumliche Position des Instrumentes darstellt.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als räumliche Position des Instrumentes nur die Instrumentenspitze erfasst wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als räumliche Position des Instrumentes mehrere Positionen entlang des Instruments erfasst werden.
30
5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die räumliche Position des Instrumentes kontinuierlich entlang des Instruments erfasst wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Information über die
35 Wegstrecke weitere Merkmale, die insbesondere Verzweigungen der röhrenförmigen

Organstrukturen oder deren Durchmesser darstellen können, enthält, die während des Vorschiebens des Instruments erfasst werden.

- 5 7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation die statischen Bilddaten verformt.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus der sich zeitlich ändernden Position des Instruments die zyklischen Bewegungen, die insbesondere Atembewegungen darstellen können, der röhrenförmigen Organstruktur berechnet
10 werden.
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur aus den Komponenten der Bewegung des Instrumentes, die orthogonal zu der röhrenförmigen Organstruktur sind, errechnet
15 wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation die berechneten Bewegungen der röhrenförmigen Organstruktur einbeziehen.
20
11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch Anbringen externer oder interner Marker die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur erfasst und in die Berechnung der Transformation einbezogen wird.
- 25 12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation über die Wegstrecke sukzessive gelernt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrische Beschreibung die Zentrallinien der röhrenförmigen Organstruktur darstellt.
30
14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrische Beschreibung die Verzweigungen der röhrenförmigen Organstruktur darstellt.
15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrische
35 Beschreibung die Oberfläche der röhrenförmigen Organstruktur darstellt.

16. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 bei bronchoskopischen Eingriffen.
17. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 als Ersatz für angiographische Bildgebung bei Katheterinterventionen.
18. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 bei der Implantation von Herzschrittmachern.
19. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 zur Positionierung von Sonden.
20. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 zur Positionierung von Ablationselektroden.
21. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 zur Positionierung von Stents in Gefäßen und Bronchien.
22. Verwendung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 zur Lageüberprüfung eines Katheters.
23. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in die Berechnung der Position ein verallgemeinertes Bewegungsmodell der röhrenförmigen Struktur berücksichtigt wird.
24. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in die Berechnung der Position ein verallgemeinertes Bewegungsmodell des umliegenden Gewebes der röhrenförmigen Organstruktur mit einbezogen wird.
25. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in die Berechnung der Position ein patientenindividuelles Bewegungsmodell der röhrenförmigen Struktur berücksichtigt wird.

26. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in die Berechnung der Position ein patientenindividuelles Bewegungsmodell des umliegenden Gewebes der röhrenförmigen Organstruktur mit einbezogen wird.
- 5 27. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass nur zu bestimmten Zeitabschnitten die sukzessive Verbesserung der Registrierung erfolgt.
28. Verfahren nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass weitere Teile der Röhrenförmigen Struktur durch Aufzeichnung der Instrumentenposition unter Berücksichtigung der berechneten zyklischen Bewegungen nach Anspruch 8 erfasst werden.
- 10
29. Verfahren nach Anspruch 27 dadurch gekennzeichnet, dass die gesamten Informationen über die röhrenförmige Struktur aus den aufgezeichneten und Bewegungskorrigierten Instrumentenpositionen gewonnen werden und als (quasi-)statische Informationen genutzt werden.
- 15
30. Verfahren nach Anspruch 28 dadurch gekennzeichnet, dass die gesammelten Informationen zu einem späteren Zeitpunkt als statische Information genutzt werden können.
- 20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2005/002244

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 A61B19/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 A61B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102 10 645 A1 (SIEMENS AG) 9 October 2003 (2003-10-09) paragraph '0005! - paragraph '0024! -----	1-30
X	US 6 473 635 B1 (RASCHE VOLKER) 29 October 2002 (2002-10-29) column 2, line 1 - column 6, line 60 -----	1-30
X	US 2002/044631 A1 (GRAUMANN RAINER ET AL) 18 April 2002 (2002-04-18) the whole document -----	1-30
X	EP 1 391 181 A (SURGICAL NAVIGATION TECHNOLOGIES, INC) 25 February 2004 (2004-02-25) paragraph '0014! - paragraph '0027! ----- -/--	1-30



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *8* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 August 2005

Date of mailing of the international search report

23/08/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Held, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2005/002244

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 233 476 B1 (STROMMER GERA M ET AL) 15 May 2001 (2001-05-15) the whole document -----	1-30

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/002244

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
DE 10210645	A1	09-10-2003	JP	2003305032 A	28-10-2003
			US	2004077942 A1	22-04-2004
US 6473635	B1	29-10-2002	DE	19946948 A1	05-04-2001
			EP	1088514 A1	04-04-2001
			JP	2001170027 A	26-06-2001
US 2002044631	A1	18-04-2002	DE	10137914 A1	16-05-2002
			JP	2002186603 A	02-07-2002
EP 1391181	A	25-02-2004	US	2004034300 A1	19-02-2004
			EP	1391181 A1	25-02-2004
			US	2005143651 A1	30-06-2005
US 6233476	B1	15-05-2001	AU	4607600 A	05-12-2000
			CA	2373295 A1	23-11-2000
			EP	1185199 A1	13-03-2002
			WO	0069335 A1	23-11-2000
			JP	2003520062 T	02-07-2003
			US	2001031919 A1	18-10-2001
			US	2005107688 A1	19-05-2005
			US	2002049375 A1	25-04-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/002244

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 A61B19/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 A61B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 102 10 645 A1 (SIEMENS AG) 9. Oktober 2003 (2003-10-09) Absatz '0005! - Absatz '0024! -----	1-30
X	US 6 473 635 B1 (RASCHE VOLKER) 29. Oktober 2002 (2002-10-29) Spalte 2, Zeile 1 - Spalte 6, Zeile 60 -----	1-30
X	US 2002/044631 A1 (GRAUMANN RAINER ET AL) 18. April 2002 (2002-04-18) das ganze Dokument -----	1-30
X	EP 1 391 181 A (SURGICAL NAVIGATION TECHNOLOGIES, INC) 25. Februar 2004 (2004-02-25) Absatz '0014! - Absatz '0027! ----- -/-	1-30

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. August 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23/08/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

He1d, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/002244

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
X	US 6 233 476 B1 (STROMMER GERA M ET AL) 15. Mai 2001 (2001-05-15) das ganze Dokument -----	1-30

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/002244

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10210645 A1	09-10-2003	JP 2003305032 A	28-10-2003
		US 2004077942 A1	22-04-2004
US 6473635 B1	29-10-2002	DE 19946948 A1	05-04-2001
		EP 1088514 A1	04-04-2001
		JP 2001170027 A	26-06-2001
US 2002044631 A1	18-04-2002	DE 10137914 A1	16-05-2002
		JP 2002186603 A	02-07-2002
EP 1391181 A	25-02-2004	US 2004034300 A1	19-02-2004
		EP 1391181 A1	25-02-2004
		US 2005143651 A1	30-06-2005
US 6233476 B1	15-05-2001	AU 4607600 A	05-12-2000
		CA 2373295 A1	23-11-2000
		EP 1185199 A1	13-03-2002
		WO 0069335 A1	23-11-2000
		JP 2003520062 T	02-07-2003
		US 2001031919 A1	18-10-2001
		US 2005107688 A1	19-05-2005
		US 2002049375 A1	25-04-2002